Lane Medical Library

Untersuchungen

über den

Kohlensäuregehalt der Luft

in den

Schulzimmern des Monbijou-Schulhauses

in Bern

im Vergleich zu ihrem Feuchtigkeitsgehalt.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt der

hohen medizinischen Fakultät der Hochschule Bern

von

E. Stähli, prakt. Arzt.

BERN
Buchdruckerei Neukomm & Zimmermann
1901.

Untersuchungen

über den

Kohlensäuregehalt der Luft

in den

Schulzimmern des Monbijou-Schulhauses

in Bern

im Vergleich zu ihrem Feuchtigkeitsgehalt.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt der

hohen medizinischen Fakultät der Hochschule Bern

von

E. Stähli, prakt. Arzt.

BERN
Buchdruckerei Neukomm & Zimmermann
1901.

Wenn auch die Hygiene, und speciell die Schulhygiene, eine relativ junge Disziplin der medizinischen Wissenschaft ist, so weist sie doch schon eine umfangreiche Litteratur auf und zahlreiche Arbeiten beweisen, welch Interesse diesem so wichtigen Zweige der Medizin geschenkt wird. Hygiene trieben zwar schon die alten Griechen; galt es doch bei ihnen als eine ebenso grosse Schande, nicht schwimmen und turnen, als nicht lesen zu können; ja, gegenüber der Körperpflege lief mitunter alles andere Gefahr, vernachlässigt zu werden. Aber diese Hygiene war eine mehr unbewusste, dem gesunden Sinne der alten Griechen entsprechend; eine eigentliche, wissenschaftliche Hygiene kannte man damals noch nicht; diese ist eine Errungenschaft der Neuzeit.

In der Schweiz wurde die Schulhygiene begründet durch Pestalozzi und v. Fellenberg. Das erste Handbuch der Schulhygiene wurde Ende der 60er Jahre von Dr. Guillaume, ebenfalls einem Schweizer, herausgegeben.

Die rasche Entwicklung, die die Hygiene nahm und die Aufmerksamkeit, die man in letzter Zeit speciell der Schulhygiene schenkt, ist gewiss vollauf berechtigt, wenn man bedenkt, in welch jugendlichem Alter die Kinder der unein-

geschränkten, freien körperlichen Bewegung beraubt und in die Schulzimmer eingezwängt werden, sei es auch nur für kurze Zeit. Wenn man auch nicht so weit gehen darf, die Schule als ein notwendiges Uebel zu bezeichnen, so ist doch nicht zu leugnen, dass sie erhebliche Schädlichkeiten in sich birgt, auf deren möglichste Beseitigung oder doch Verminderung man in erster Linie bedacht sein muss. Die Prophylaxe, die in einer möglichst hygienischen Einrichtung des Schulhauses und in einer weisen Verteilung der Schul- und Erholungsstunden besteht, kann hier unendlich mehr leisten, als eine spätere kurative Behandlung. Früher war eine jede Bude gut genug zum Schulehalten; in ein enges, niedriges Zimmer wurden bis zu 80 und mehr Kinder gepfercht, eine Zahl, die freilich auch jetzt noch in einzelnen Volksschulen erreicht wird; aber man ist doch nach Kräften bestrebt, in Bezug auf die Schulzimmer, den hygienischen Anforderungen gerecht zu werden.

In der Beschaffenheit des Bauplatzes, des zugehörigen Umschwunges, der Verteilung der Zimmer und Korridore, der Anlage von eigenen Garderobezimmern und in der Einrichtung der Aborte eines Schulhauses ist man so ziemlich einig; das Nämliche aber kann nicht behauptet werden von der Orientation; so viele Himmelsrichtungen existieren, so viele Orientationen finden ihre Verteidiger; die meisten Autoren haben sich, des grössern Licht- und Wärmeeffektes wegen, für Süd-Ost-Osten entschieden (Zwez, Pappenheim, Falk); aber auch die nördliche Richtung findet ihre Anhänger (Reclam) und erst neuerdings hat Erismann* (Zürich) aufs wärmste eine nördliche Orientation befürwortet, allerdings nicht ohne auf heftigen Widerspruch zu stossen. Eris-

* Korrespondenzblatt für Schweizer Aerzte, Beil. Nr. 13, Jahrg. 1901.

mann behauptet, dass die Beleuchtung dabei eine ungemein konstante sei und dass dem Nachteil an Wärme- und Lichtintensität mit Leichtigkeit durch Heizung und Anbringen vieler Fenster entgegengetreten werden könne; auch würden die Schulzimmer bei nördlicher Lage nicht so unerträglich heiss; sogar an trüben Tagen will Erismann an den ungünstigst gelegenen Plätzen eine Helligkeit von 35 Meterkerzen gefunden haben, während das verlangte Minimum für nördlich gelegene Zimmer 25 Meterkerzen beträgt. Trefflich illustrieren diesen Kampf um die Orientation unsere neuerbauten Berner Schulhäuser (Lorraine, Länggasse, Monbijou), von denen ein jedes eine andere Orientation aufweist.

In der Höhe einigte man sich auf ein Maximum von drei Stockwerken, von denen das erste mindestens 1,5 m vom Boden entfernt sein muss.

Als Norm für ein Schulzimmer stellten Zwez und die königlich-preussische Baudeputation* folgende Zahlen auf:

Länge	10,5 m (Zwez)	9,5 (königl.-preuss. Baudeput.)	
Tiefe	7,0 m »	7,0 »	»

Die Berner-Norm beträgt:

Länge	9—10 m
Tiefe	6,50 m
Höhe	3—5 m.

Die Fenster sind auf der Längsseite anzubringen; der Quadratraum pro Kopf wird von der königlich-preussischen Baudeputation angegeben für jüngere Kinder von 0,887 bis 1,0 m^2; für ältere von 1,0 bis 1,2 m^2. Die Höhe des Zimmers auf 4 bis 4,5 m. Kubikinhalt = 220 bis 230 m^3; Kubikinhalt pro Kopf auf 4 bis 5 m^3.

* Baginsky, Seite 64, Schulhygiene.

Ein so konstruiertes Zimmer soll der Hauptgefahr für die jugendliche Gesundheit, nämlich der Luftverderbnis, nach Möglichkeit entgegentreten.

Die Quellen der Luftverderbnis sind vielfache und verschiedenartiger Natur; als die hauptsächlichsten werden angegeben:*

1. der Lebensprozess des Menschen;
2. die verschiedenen, künstlichen Beleuchtungsarten;
3. Heizung;
4. verunreinigte Kleidungsstücke der Kinder;
5. Zersetzungsvorgänge in Mauern, Dielen, Böden und Geräten;
6. Feuchtigkeit.

Der Lebensprozess des Menschen bedingt namentlich eine starke Kohlensäureausscheidung. Der Kohlensäuregehalt der Expirationsluft ist um mehr als das 100fache grösser als der der Inspirationsluft, so dass in der ausgeatmeten Luft im Mittel 4,38% CO_2 enthalten sind; der Sauerstoffgehalt der Luft nimmt durch den Atmungsprozess nur etwa um $^1/_5$ ab.

Der Kohlensäuregehalt wächst mit der Zahl der in der Zeiteinheit gemachten Atembewegungen, sowie der angewandten Muskelthätigkeit, was z. B. bei Gesangsübungen in Betracht fällt; sie steigt ebenfalls bei erniedrigter Lufttemperatur und fällt bei erhöhter. (Baginsky.)

Am reichsten ist die Ausscheidung 2—3 Stunden nach der Nahrungsaufnahme. Dagegen hat das Alter der Personen keinen so grossen Einfluss auf die Ausscheidungsmenge von Kohlensäure, indem sie sich bei jungen Leuten

* Pettenkofer, Handbuch der Schulhygiene von Leo Burgenstein, Seite 124. Karl Schmidt, Heizung und Ventilation, Seite 238 ff.

infolge gesteigerter Respiration fast ebenso hoch beläuft, wie bei Erwachsenen; ja, auf das Gewicht berechnet, scheiden sie sogar doppelt so viel aus.

Eine geringe Menge Kohlensäure wird auch durch die Haut ausgeschieden und ihr Verhältnis steht zur Kohlensäureausscheidung durch die Lunge wie 0,0089 : 1 (Scharling) und 0,0108 : 1 (Gerlach).

Ausser Kohlensäure atmen die Lungen auch Feuchtigkeit aus, deren Tagesmenge Valentin auf 375, Schmidt auf 350 und Rubner auf 300 gr angibt; weit mehr Feuchtigkeit wird aber durch die Haut ausgeschieden und zwar gibt Pettenkofer die tägliche Menge an von 828—2042 gr; letztere beim stark arbeitenden Manne.

Als Drittes werden der Binnenluft durch die Atmung noch die sogenannten Atemgifte (Anthropotoxine) zugeführt, deren Vorkommen von einzelnen Autoren auch bestritten wird und die in ihrer Menge und Species ausserordentlich wenig bekannt sind. Auch die Schweissproduktion, namentlich Achsel- und Fussschweiss, sowie Darmgase können erheblich zur Verschlechterung der Binnenluft beitragen.

Dass die Verbrennungs-Beleuchtung, wie Gas, Petrol etc. eine erhebliche Menge von Kohlensäure produziert, ist bekannt.

Weil wir nun nicht im stande sind, die verschiedenen Verunreinigungen und die Qualität der Stoffe, welche unserm Geruchsorgan die Luft als schlecht erscheinen lassen, genügend genau zu bestimmen, so nimmt Pettenkofer an, dass als Mass der Luftverschlechterung der Kohlensäuregehalt anzusehen sei, zumal nach Pettenkofer der Gehalt an Feuchtigkeit und vom Körper ausgeschiedenen, gasigen und organischen Bestandteilen, proportional geht dem Kohlensäuregehalt. Nach Pettenkofer ist, gemäss seinen empirischen

Versuchen, eine Luft, die mehr als 1 $^0/_{00}$ CO_2 enthält, dem Menschen unbehaglich und infolgedessen schlecht und für den beständigen Aufenthalt untauglich. Nicht dass die Kohlensäure in diesen kleinen Mengen schädlich auf den Organismus wirken sollte, denn Leblanc stellte fest, dass noch bei viel höherem Gehalt von Kohlensäure, wie er überhaupt in geschlossenen Räumen nicht vorkommt, das Leben, wenigstens für Minuten, nicht bedroht ist; aber die Kohlensäure dient, weil sie leichter zu bestimmen ist, als die übrigen, verschlechternden Faktoren, als Indikator der Grösse der Luftverderbnis und der Sauerstoffabnahme; ein höherer Grad von Kohlensäure ist immerhin schon von erheblichem Schaden, weil das Lungenblut nicht mehr im stande ist, seinen Kohlensäuregehalt in gehöriger Weise abzugeben, wodurch eine allmählige Ueberladung und Anhäufung im Körperkreislauf zu stande kommt, die den Exitus herbeiführen kann. Die Atmungshäufigkeit nimmt bei hohem Kohlensäuregehalt um $^1/_4$ zu.

Aehnlich Pettenkofer drückt sich Schmidt aus, der den Kohlensäuregehalt deshalb als Mass der Luftverschlechterung angibt, weil:

1. die expirierte Kohlensäure sich vermehrt, proportional den anwesenden Menschen;
2. diejenigen Stoffe, welche die Luft geschlossener Räume widerlich und schädlich machen, in ungefähr gleichem Verhältnis zunehmen, und
3. die Kohlensäure am leichtesten zu bestimmen ist.

Eine sichere Grenze der Zuträglichkeit der Luft für den Kohlensäuregehalt ist vorläufig noch nicht anzugeben und

* Ventilation und Hygiene, pag. 238.

der Maximalgehalt von 1 ‰ (Pettenkofer) ist, als zu gering, bekämpft worden. So nehmen als geeignete Masse und zugleich als äusserste Grenze noch nicht verdorbener Luft an:

Pappenheim	4‰
Leblanc	4—5‰
Wolpert	2‰
Poumet	3‰
Schottky	2‰.

Wohl der beste Massstab über die Zuträglichkeit der Luft wäre das subjektive Gefühl des Menschen, aber leider gewöhnt man sich nach und nach an die umgebende Atmosphäre, so dass das feine Empfindungsvermögen verloren geht.

Die Frage der Luftfeuchtigkeit in Schulzimmern ist bis jetzt noch sehr wenig ventiliert worden und die Mitteilungen über Höhe und Zuträglichkeit derselben sind sehr spärlich; und doch ist der Feuchtigkeitsgehalt der Luft in hygienischer Beziehung sehr wichtig; denn zu hohe Feuchtigkeit ist eine häufige Begünstigung zu gewissen Krankheiten, während umgekehrt zu niedrige Feuchtigkeit ausserordentlich austrocknend auf die Schleimhäute wirkt und dadurch die Disposition zu gewissen andern Krankheiten erhöht.

Baginsky glaubt, dass der Wassergehalt der Luft nicht als Mass ihrer Güte angesehen werden könne, weil er zu schwankend ist und von zu vielen Momenten beeinflusst wird. Die Luft soll unbehaglich sein bei einem relativen Feuchtigkeitsgehalt von über 80% und unter 50%; als günstigstes Mass wird eine solche von 60% angegeben.

Denecke* hält überhaupt die Angaben der Feuchtigkeit

* Jahrbuch der Hygiene, 1886, pag. 47.

in relativem oder absolutem Mass für unzweckmässig und behauptet, dass die Bestimmung des Sättigungsdefizites in hygienischer Beziehung das weitaus Wichtigste sei, weil es der korrekteste Massstab sei für die Beurteilung der Luftfeuchtigkeit; die Mehrzahl der hygienischen Fragen erfordert nur ein Urteil über die austrocknende Wirkung der Luft und diese wird allgemein richtig durch das Sättigungsdefizit angegeben. Die Angabe in relativer Feuchtigkeit ist deshalb ungenügend, weil die Temperatur dabei vollständig unberücksichtigt bleibt. Als äusserste Grenze des Sättigungsdefizites in Zimmern wird 8—9 gr von Denecke angegeben. Schmidt fand in Schulzimmern ein solches von 9—14 gr und in Zimmern mit Luftheizung stieg es sogar bis auf 18 gr.

Zur Bestimmung der Kohlensäure sind zahlreiche Apparate verfertigt worden und kommen immer noch neue dazu; schon diese Thatsache beweist zur Genüge, dass eine in jeder Beziehung befriedigende Methode zur Bestimmung der Kohlensäure noch nicht vorhanden ist — ein Analogon zur Erfahrung in der kurativen Medizin. Die Apparate dienen zum Teil nur zu einer approximativen Bestimmung (Wolpert, Lunge, Schaffer) und einzig die umständliche Pettenkofersche Methode liefert genaue Resultate.

Im letzten Jahre wurde ein neuer Apparat von C. Altmann in Berlin nach den Angaben von Dr. Ohlmüller konstruiert, von König* beschrieben und nachgeprüft, von dessen leichter Handhabung und Genauigkeit ich mich genügend durch eigene Versuche überzeugen konnte. Allein auch diese Methode hat ihre Nachteile, indem die Herstellung der erforderlichen Gebrauchslösung manchmal Schwierigkeiten be-

* Inaugural-Dissertation, Bern 1901.

reitet; ferner ist die genaue Bestimmung des Zeitpunktes der gänzlichen Entfärbung der Lösung nicht präzis genug anzugeben, so dass hier leicht Fehlerquellen von 0,2—0,3‰ entstehen können, die zwar in hygienischer Beziehung sehr wenig in Betracht fallen; ein fernerer Nachteil ist der, dass eine genaue Bestimmung von Kohlensäure bei geringem Gehalt mindestens 10—15 Minuten in Anspruch nimmt, so dass die Zeit einer Pause zwischen den einzelnen Stunden ohne Störung des Unterrichts nicht langt, um eine Bestimmung der Kohlensäure mit dem Apparat im Schulzimmer selbst vorzunehmen.

Unter diesen Umständen scheint es auch jetzt noch erstrebenswert, nach neuen und raschen Methoden zur Bestimmung der Kohlensäure zu suchen, die gleichwohl hygienisch brauchbare Resultate liefern.

Prof. Dr. Girard stellte mir nun — zugleich mit der Bestimmung des Kohlensäuregehaltes in den Schulzimmern des Monbijou-Schulhauses — die Aufgabe, zu untersuchen, in welchem Verhältnis der Kohlensäuregehalt zum Feuchtigkeitsgehalt steht; ob hier vielleicht ein Verhältnis existiere, gleichviel welcher Art, welches gestattet, aus der Steigerung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft auf den Kohlensäuregehalt zu schliessen, ein Verhältnis, das bei der ausserordentlich raschen und doch genauen Bestimmung der Feuchtigkeit, eine ungemein elegante und doch hygienisch brauchbare Bestimmung des Kohlensäuregehaltes bedeuten würde. Diese Aufgabe wurde angeregt durch den Pettenkofer'schen Satz: «Der Feuchtigkeitsgehalt geht proportional dem Kohlensäuregehalt».

Dass dieses Verhältnis zwar ein proportionales ist, ist von vorneherein nicht gerade anzunehmen, sprechen doch verschiedene Gründe dagegen; denn schon die Ausscheidung

beider durch den Menschen ist eine ungleichwertige. Die Proportionalität gilt wohl für die Lungenatmung, nicht aber für die Ausscheidung durch die Haut, welche bekanntlich ungleich mehr Wasser als Kohlensäure ausscheidet, im Gegensatz zur Lunge; oder es müsste denn die Annahme gemacht werden, dass die Ausscheidungen in ihrer Gesamtheit proportional seien, indem vielleicht der höhern Kohlensäureausscheidung durch die Lunge die höhere Wasserausscheidung durch die Haut gegenübersteht und einer geringern Secernierung von Kohlensäure durch die Haut eine ebenso geringe Wasserausscheidung der Lunge entspricht, so dass gleichwohl eine Proportionalität entstünde. Auch wenn diese Annahme richtig sein sollte, so sind doch noch andere Quellen, teils der Feuchtigkeitsabgabe, teils der Feuchtigkeitsaufnahme, welche störend auf die Proportionalität wirken. Unsere Kleider sind ja eigentliche Hygrometer, welche je nach der Luftfeuchtigkeit solche aufnehmen oder abgeben. Durch die Kleider gehende Luft wird überdies noch erwärmt und ist deshalb im stande, mehr Feuchtigkeit aufzunehmen; umgekehrt können nass gewordene Kleider der Schüler ganz erhebliche Mengen von Feuchtigkeit abgeben. Und wiederum vermögen Wände und Decken und etwaige Gegenstände des Schulzimmers Feuchtigkeit aufzunehmen und können umgekehrt solche bei gewissen Verhältnissen wieder abgeben.

In ähnlicher Weise spricht sich auch Rubner* aus: «Die Proportionalität der Kohlensäureausscheidung und der übrigen schädigenden und belästigenden Ausscheidungen ist nur sehr genähert zulässig; denn die Kohlensäureausscheidung steht in keinem Zusammenhang mit der Hautthätigkeit, die

* Lehrbuch der Hygiene, Seite 20.

bei gleicher Kohlensäureausscheidung eine ganz wechselnde sein kann.

Wir sehen also, dass eine genaue Proportionalität im Sinne Pettenkofers wohl kaum bestehen wird; richtig wird wohl nur sein, dass im allgemeinen bei vermehrter Kohlensäureabgabe auch die Feuchtigkeit zunimmt; ob und in welchem Verhältnis sie zunimmt, soll Gegenstand meiner Untersuchungen sein.

Als geeignetes Objekt zur Untersuchung dieser Frage wurde mir von Prof. Dr. Girard das im Jahre 1899 erbaute Monbijou-Schulhaus in Bern zugewiesen. Dasselbe ist mit reichlichem Umschwung versehen und hat eine nördliche, speciell nordöstliche Orientation; es ist drei Stockwerke hoch, von denen das erste reichlich 1,5 m vom Boden entfernt ist; die Zimmer sind sämtlich, mit Ausnahme von Sing- und Zeichnungssaal und einigen wenigen Zimmern, die aber nicht zu Unterrichtszwecken benutzt werden, mit ihrer Längsseite, an der je drei dreiteilige Fenster mit Oberlichtern angebracht sind, nach Norden gerichtet; trotzdem hörte ich nie Klagen über mangelnde Beleuchtung; je zwei Thüren, mit Oberlichtern versehen, führen in die einzelnen Zimmer. Durchwegs ist die freie Bestuhlung eingeführt. Die Zimmer weisen, mit Ausnahme von Zeichnungs- und Singsaal, fast alle die gleichen Dimensionen auf und entsprechen, wie wir später sehen werden, ungefähr den frühern aufgestellten Normen. Deshalb untersuchte ich im ganzen nur vier Schulzimmer, die Schulkinder verschiedener Altersstufen beherbergten. Die Versuche wurden jeweilen vormittags angestellt, weil nachmittags nur eine oder gar keine Stunde in den betreffenden Klassenzimmern abgehalten wurde.

Zur Bestimmung des Kohlensäuregehaltes benutzte ich

den schon früher erwähnten Ohlmüller'schen Apparat; König*, der diesen Apparat auf seine Brauchbarkeit prüfte, kam mit ihm zu Resultaten, die mit den nach der Pettenkofer'schen Methode gewonnenen ziemlich genau übereinstimmten, allerdings erst nach einer Modifizierung der erforderlichen Gebrauchslösung; er empfiehlt ihn warm zur Prüfung des Kohlensäuregehaltes in Schulzimmern. Die Handhabung des Apparates und die erforderlichen Lösungen sind leicht aus dieser Arbeit zu entnehmen und verzichte ich deshalb auf eine Wiedergabe. Die Bestimmung des Kohlensäuregehaltes geschieht nach der Formel:

$$x = \frac{0{,}3 \cdot 1000}{y};$$

wobei y die Menge der zur Entfärbung verbrauchten Luft bedeutet.

Da aber zwischen den einzelnen Stunden nur eine Pause von 10 Minuten war und eine Bestimmung der Kohlensäure im Schulzimmer selbst deshalb zu unliebsamen Störungen geführt hätte, so gewann ich die zu untersuchende Luft dadurch, dass ich mich 1—2 Minuten vor Schluss der Stunde in das zu untersuchende Zimmer begab und die Luft in einen mitgebrachten Kautschukballon, der eine genügende Menge fasste, pumpte. Vermittelst eines Schlauches wurde dieser gut verschliessbare Ballon mit dem Apparat in Verbindung gesetzt. Um etwaige Fehlerquellen bei diesem Verfahren auszuschliessen, liess ich den ersten Versuch stets unberücksichtigt, so dass nach diesem sämtliche Leitungsstücke mit der zu untersuchenden Luft gefüllt waren, und schloss jeweilen nach Beendigung des Versuchs den Verbindungsschlauch nahe der Einmündungsstelle in den Appa-

* Inaugural-Dissertation, Bern, 1901.

rat mit einem Schieber ab. Dass diese Vorsichtsmassregel nicht zwecklos war, werden wir aus den nach dem ersten Versuch erhaltenen Resultaten sehen. Um möglichst genaue Resultate zu erhalten, machte ich stets drei Versuche mit der nämlichen Luftprobe, Versuche, die, ausgenommen den ersten, kaum je um weniges differierten.

Zur Bestimmung der Feuchtigkeit benutzte ich das Saussure'sche Haarhygrometer, verbessert von Kopp. Dasselbe gibt die relative Feuchtigkeit an. Die Bestimmung der Feuchtigkeit beruht bei diesem Apparat auf der Eigenschaft eines eigens dazu präparierten Frauenhaares, das in passender Weise befestigt ist, sich in feuchter Luft auszudehnen und in trockener zusammenzuziehen. Auf einer gefundenen Scala wird die relative Feuchtigkeit durch einen Zeiger, der mit dem Haar in Verbindung ist, in Prozenten angegeben; die Kontrollierung des Sättigungspunktes = 100%, die nach jedem Versuch vorgenommen werden muss, ist schnell und leicht gemacht durch Einlegen einer mit Feuchtigkeit vollständig gesättigten Membran in ein Gehäuse, das über das Hygrometer gestülpt werden kann. Verbindet man mit der Ablesung der relativen Feuchtigkeit die Ablesung eines Thermometers, der am Apparat selbst angebracht ist, so sind absolute Feuchtigkeit und Sättigungsdefizit leicht zu berechnen. Man liest auf einer Tabelle das Sättigungsmaximum für die gefundene Temperatur ab; da aber die Luft von dieser Wassermenge nur eine bestimmte Prozentzahl enthält, die als relative Feuchtigkeit vom Kopp'schen Hygrometer angegeben wird, so gestaltet sich die Formel zur Bestimmung der absoluten Feuchtigkeit folgendermassen:

$$\text{absolute Feuchtigkeit} = x = \frac{a \times b}{100};$$

dabei bedeutet a die relative Feuchtigkeit, b das Sättigungsmaximum für die betreffende Temperatur. Das Sättigungsdefizit ist einfach die Differenz zwischen dem Sättigungsmaximum und der gefundenen absoluten Feuchtigkeit.

Tabelle I.

30. Mai 1901. Zimmer Nr. 25. Schülerinnenzahl = 34. Alter 17 Jahre.

Länge des Zimmers	= 9,75 m
Tiefe	= 6,63 m
Höhe	= 3,60 m

Kubikinhalt = 232,71 m^3; pro Kopf = 6,84 m^3.

Während des Unterrichtes stunden 3 Fensterflügel offen und die Oberlichter der beiden Thüren.

7 Uhr morgens, unmittelbar vor Beginn der Schule:

I. Ohlmüller = 330 cm^3 Luft; $x = CO_2 = \frac{0{,}3 \cdot 1000}{330} =$ 0,90‰

II. und III. Ohlmüller = 320 cm^3 Luft; $x = CO_2 = 0{,}93$‰.

Relative Feuchtigkeit = r. F. = 56,0; Temperatur = 18,4; der Temperatur von 18,4 entspricht ein Sättigungsmax. = 15,68; von dieser Wassermenge enthält die Luft aber nur 56% r. F.

Die absolute Feuchtigkeit pro m^3 ist deshalb:

$$x = \frac{56 \cdot 15{,}68}{100} = 8{,}78 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = Sättigungsmaximum − absol. Feuchtigkeit = 15,68—8,78 = 6,90 gr.

8 Uhr, nach einer Stunde Unterricht:

I. Ohlmüller = 170 cm^3 Luft; x = 30 : 17 = 1,76‰ CO_2

II. und III. Ohlmüller = 160 cm^3 Luft; x = 30 : 16 = 1,87‰ CO_2

r. F. = 53,0; T. = 20,0; Sättigungsmax. bei 20% = 17,16 gr

$$\text{a. F.} = x = \frac{53{,}0 \cdot 17{,}16}{100} = 9{,}09 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 17,16—9,09 = 8,07 gr.

9 Uhr, nach zwei Stunden Unterricht, wobei in der zweiten Stunde noch eine Thüre geöffnet war:

I. Ohlmüller = 130 cm^3; x = 30 : 13 = 2,30‰ CO_2

II. und III. Ohlmüller = 120 cm^3; x = 30 : 12 = 2,50‰ CO_2

r. F. = 49,5; T. = 21,3; Sättigungsmax. bei 21,3 = 18,52 gr

$$\text{a. F.} = \frac{18{,}52 \cdot 49{,}5}{100} = 9{,}16 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 18,52 — 9,16 = 9,36 gr

Von 9—10 Uhr, während welcher Zeit 3 Flügel geöffnet waren, war kein Unterricht.

11 Uhr:

I. Ohlmüller = 120 cm^3; x = 30 : 12 = 2,50‰ CO_2

II. und III. Ohlmüller = 110 cm^3; x = 30 : 11 = 2,72‰ CO_2

r. F. = 46,0; T. = 24,6; Sättigungsmax. bei 24,6 = 22,36

$$x = \text{a. F.} = \frac{46{,}0 \cdot 22{,}36}{100} = 10{,}28 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 22,36—10,28 = 12,08 gr.

Tabelle II.

Zimmer Nr. 25. 4. Juni 1901.

3 Fensterflügel waren geöffnet.

7 Uhr morgens, vor Beginn der Stunde:

I. Ohlmüller = 350 cm^3; x = 30 : 35 = 0,90‰ CO_2

II. und III. Ohlmüller = 330 cm^3 Luft; x = 30 : 33 = 0,90‰ CO_2

r. F. = 57,0; T. = 18,1; Sättigungsmax. bei 18,1 = 15,42

$$x = \text{a. F.} = \frac{57{,}0 \cdot 15{,}42}{100} = 8{,}78 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 15,42—8,78 = 6,64 gr.

Aus den bisher angegebenen Versuchen mit Ohlmüller sehen wir, dass der erste Versuch stets etwas zu niedrige Werte angab, während die übrigen stets übereinstimmten, weshalb ich den ersten Versuch von nun an unberücksichtigt liess.

8 Uhr, nach einer Stunde Unterricht:

Ohlmüller = 170 cm^3; x = 30 : 17 = 1,76‰ CO_2

r. F. = 53,0; T. = 20,2; Sättigungsmax. bei 20,2 = 17,37

$$x = \text{a. F.} = \frac{53{,}0 \cdot 17{,}37}{100} = 9{,}20 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 17,37—9,20 = 8,17 gr.

9 Uhr, nach zwei Stunden Unterricht bei gleicher Ventilation:

Ohlmüller = 120 cm^3; x = 30 : 12 = 2,50‰ CO_2

r. F. = 49,0; T. = 22,0; Sättigungsmax. bei 22,0 = 19,29

$$x = \text{a. F.} = \frac{49{,}0 \cdot 19{,}29}{100} = 9{,}45 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 19,29—9,45 = 9,84 gr.

11 Uhr, nach vier Stunden Unterricht:

Ohlmüller = 90 cm^3; x = 30 : 9 = 3,33‰ CO_2

r. F. = 46,5; T. = 24,8; Sättigungsmax. bei 24,8 = 22,62

$$x = \text{a. F.} = \frac{46{,}5 \cdot 22{,}62}{100} = 10{,}51 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 22,62—10,51 = 12,11 gr.

Tabelle III.

Zimmer Nr. 26. 6. Juni 1901.

Versuchsweise wurden diesmal sämtliche Ventilationen geschlossen und auch während der Pause blieb alles zu.

7 Uhr, vor Beginn der Stunde:

Ohlmüller = 340 cm^3; x = 30 : 34 = 0,88‰ CO_2

r. F. = 55,5; T. = 18,2; Sättigungsmax. = 15,5

$$x = \text{a. F.} = \frac{55{,}5 \cdot 15{,}5}{100} = 8{,}60 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 15,5—8,60 = 6,90 gr.

8 Uhr, nach einer Stunde Unterricht:

Ohlmüller = 80 cm^3; x = 30 : 8 = 3,75‰ CO_2

r. F. = 57,0; T. = 22,5; Sättigungsmaximum = 19,87

$$x = \text{a. F.} = \frac{57{,}0 \cdot 19{,}87}{100} = 11{,}32 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 19,87—11,32 = 8,55 gr.

9 Uhr, nach zwei Stunden Unterricht bei vollständig geschlossener Ventilation:

Ohlmüller = 40 cm^3; x = 30 : 4 = 7,50‰ CO_2

r. F. = 58,0; T. = 24,2; Sättigungsmax. = 21,85 gr

$$x = \text{a. F.} = \frac{58{,}0 \cdot 21{,}85}{100} = 12{,}67 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 21,85—12,67 = 9,18 gr.

Nach diesen zwei Stunden vollständiger Abgeschlossenheit hielt ich es nicht mehr für ratsam, weiter zu fahren, da die Schülerinnen bedenklich über Hitze und schlechte Luft klagten: die um 11 Uhr vorgenommene Bestimmung geschah nach einer Stunde Pause von 9—10 bei einer Lüftung durch 6 Fensterflügel und eine Thüre auch während des Unterrichtes.

11 Uhr, nach einer Stunde Unterricht:

Ohlmüller = 110 cm^3; x = 30 : 11 = 2,72‰

r. F. = 51,0; T. = 2,18; Sättigungsmax. 19,06 gr

$$x = \text{a. F.} = \frac{51{,}0 \cdot 19{,}06}{100} = 9{,}72 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 19,06—9,72 = gr.

Tabelle IV.

Zimmer Nr. 25. 7. Juni 1901.

3 Flügel offenstehend.

7 Uhr, Ohlmüller = 330; x = 30 : 33 = 0,90‰ CO_2

r. F. = 59,0; T. = 17,5; Sättigungsmax. = 14,86 gr

$$x = \text{a. F.} = \frac{59{,}0 \cdot 14{,}86}{100} = 8{,}76 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 14,86—8,76 = 6,10 gr.

8 Uhr, nach einer Stunde Unterricht:

Ohlmüller = 170; x = 30 : 17 = 1,76‰

r. F. = 56,1; T. = 18,9; Sättigungsmax. 16,11 gr

$$x = \text{a. F.} = \frac{56{,}1 \cdot 16{,}11}{100} = 9{,}03 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 16,11—9,03 = 7,80 gr.

9 Uhr, nach zwei Stunden Unterricht:

Ohlmüller = 90 cm^3; x = 30 : 9 3,33‰ CO_2

r. F. = 54,2; T. = 20,5; Sättigungsmax. 17,68 gr

$$x = \text{a. F.} = \frac{54{,}2 \cdot 17{,}68}{100} = 9{,}58 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 17,68—9,58 = 8,10 gr.

11 Uhr, nach vier Stunden Unterricht:

Ohlmüller 80 cm^3; x = 30 : 8 = 3,75‰ CO_2

r. F. = 50,0; T. = 22,6; Sättigungsmax. = 19,99

$$x = \text{a. F.} = \frac{50{,}0 \cdot 19{,}99}{100} = 9{,}99 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 19,99—9,99 = 10,00 gr.

Die CO_2-Bestimmugen in diesen vier Tabellen wurden alle vorgenommen bei schönem Wetter.

Tabelle V.

Zeichnungssaal Zimmer Nr. 26. 8. Juni 1901.

Höhe 3,60 m. Länge 11,58 m. Breite 8,63 m.

Kubikinhalt 359,76 m^3; pro Kopf bei einer mittleren Annahme von 30 Kindern = 11,99 m^3.

Die Längsrichtung mit einer Reihe von 6 Fenstern, sieht hier nach Nordwesten.

7 Uhr, Ohlmüller = 400 cm^3; x = 3 : 4 = 0,75‰ CO_2

r. F. = 59,0; T. = 19,4; Sättigungsmax. = 16,39 gr

$$x = \text{a. F.} = \frac{59{,}0 \;.\; 16{,}39}{100} = 9{,}67 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 16,39—9,67 = 6,72 gr.

8 Uhr, nach einer Stunde Unterricht; 26 Kinder; 12 Jahre alt. 3 Fensterflügel geöffnet:

Ohlmüller = 150 cm^3; x = 30 : 15 = 2,00‰ CO_2

r. F. = 58,0; T. = 21,2; Sättigungsmax. = 18,41

$$x = \text{a. F.} = \frac{58{,}0 \;.\; 18{,}41}{100} = 10{,}67 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 18,41—10,67 = 7,74 gr.

9 Uhr, nach zwei Stunden Unterricht mit der nämlichen Klasse:

Ohlmüller = 120; x = 30 : 12 = 2,50‰ CO_2

r. F. = 54,0 cm^3; T. = 22,0; Sättigungsmax. 19,29

$$x = \text{a. F.} = \frac{54{,}0 \;.\; 19{,}29}{100} = 10{,}41 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 19,29—10,41 = 8,88 gr.

10 Uhr, nach drei Stunden Unterricht bei 6 geöffneten Flügeln; 28 Kinder; 13 Jahre alt:

Ohlmüller = 110; x = 30 : 11 = 2,72‰ CO_2

r. F. = 51,0 cm^3; T. = 22,8; Sättigungsmax. 20,22

$$x = \text{a. F.} = \frac{51{,}0 \;.\; 20{,}22}{100} = 10{,}31 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 20,22—10,31 = 9,91 gr.

11 Uhr, nach vier Stunden Unterricht; die nämliche Klasse:

Ohlmüller = 100 cm^3; x = 30 : 10 = 3,00‰ CO_2

r. F. = 51,5; T. = 23,8; Sättigungsmax. 21,37

$$x = \text{a. F.} = \frac{51{,}5 \cdot 21{,}37}{100} = 11{,}00 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 21,37—11,00 = 10,37 gr.

Tabelle VI.

Zimmer Nr. 26. 10. Juni 1901.

Kinder = 24; 13jährig; weil Regentag sind nur 3 Fensterflügel geöffnet.

7 Uhr, Ohlmüller = 360; x = 30 : 36 = 0,88‰ CO_2

r. F. = 75,0; T. = 16,2; Sättigungsmax. = 13,72

$$x = \text{a. F.} = \frac{75 \cdot 13{,}72}{100} = 10{,}30 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 13,72—10,30 = 3,42 gr.

8 Uhr, nach einer Stunde Unterricht:

Ohlmüller = 140; x = 30 : 14 = 2,14‰ CO_2

r. F. = 73,0 cm^3; T. = 18,1; Sättigungsmax. = 15,42

$$x = \text{a. F.} = \frac{73{,}0 \cdot 15{,}42}{100} = 11{,}25 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 15,42—11,25 = 4,17 gr.

9 Uhr, nach zwei Stunden Unterricht mit der nämlichen Klasse:

Ohlmüller = 110 cm^3; x = 30 : 11 = 2,72‰ CO_2

r. F. = 73,0; T. = 20,2; Sättigungsmax. 17,16

$$x = \text{a. F.} = \frac{73{,}0 \cdot 17{,}16}{100} = 12{,}52 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 17,16—12,52 = 4,64 gr.

10 Uhr, nach drei Stunden Unterricht; 29 Kinder, 11jährig:

Ohlmüller = 110; x = 30 : 11 = 2,72‰ CO_2

r. F. = 67,0; T. = 20,4; Sättigungsmax. = 17,58

$$x = \text{a. F.} = \frac{67{,}0 \cdot 17{,}58}{100} = 11{,}77 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 17,88—11,77 = 5,81 gr.

11 Uhr, nach vier Stunden Unterricht mit der nämlichen Klasse:

Ohlmüller = 100; x = 30 : 10 = 3,00‰ CO_2

r. F. = 64,0; T. = 22,0; Sättigungsmax. = 19,29

$$x = \text{a. F.} = \frac{64{,}0 \cdot 19{,}29}{100} = 12{,}34 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 19,29—12,34 = 6,95 gr.

Tabelle VII.

Zeichnungssaal Nr. 26. 13. Juni 1901.

7 Uhr, Ohlmüller = 420; x = 30 : 42 = 0,71‰ CO_2

r. F. = 60,0; T. = 19,0; Sättigungsmax. = 16,20

$$x = \text{a. F.} = \frac{60{,}0 \cdot 16{,}20}{100} = 9{,}72 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 16,20—9,72 = 6,48 gr.

8 Uhr, nach einer Stunde Unterricht. 29 Kinder, 11jährig. 3 Fensterflügel sind geöffnet:

Ohlmüller = 160; x = 30 : 16 = 1,87‰ CO_2

r. F. = 57,5 cm^3; T. = 21; Sättigungsmax. 18,20 gr

$$3 = \text{a. F.} = \frac{57{,}5 \cdot 18{,}20}{100} = 10{,}46 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 18,20—10,46 = 7,64 gr.

9 Uhr, nach zwei Stunden Unterricht mit der nämlichen Klasse:

Ohlmüller = 140 cm^3; 4 = 30 : 14 = 2,14‰ CO_2

r. F. = 53,0; T. = 22,5; Sättigungsmax. 19,87

$$x = \text{a. F.} = \frac{53{,}0 \cdot 19{,}87}{100} = 10{,}53 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 19,87—10,53 = 9,34 gr.

10 Uhr, nach drei Stunden Unterricht; 28 Kinder, 13jährig; während der Pause und den nächsten Stunden sind 6 Fenster geöffnet:

Ohlmüller = 120; x = 30 : 12 = 2,50‰ CO_2

r. F. = 50,0 cm^2; T. = 23,2; Sättigungsmax. = 20,68

$$x = \text{a. F.} = \frac{50{,}0 \cdot 20{,}68}{100} = 10{,}34 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 20,68—10,34 = 10,34 gr.

11 Uhr, nach 4 Stunden Unterricht mit der nämlichen Klasse:

Ohlmüller = 110 cm^3; x = 30 : 11 = 2,72‰ CO_2

r. F. = 49,0; T. = 24,1; Sättigungsmax. = 21,73

$$x = \text{a. F.} = \frac{49{,}0 \cdot 21{,}73}{100} = 10{,}64 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 21,73—10,64 = 11,09 gr.

Tabelle VIII.

Zimmer Nr. 12. 14. Juni 1901. Kinder = 24, 15jährig.

Länge 8,90 m. Breite 7,20 m. Höhe 3,60 m.

Kubikinhalt = 230,63 m^3; pro Kopf = 9,61 m^3.

Wegen Regentag bleiben sämtliche Fenster und Oberlichter geschlossen.

7 Uhr, Ohlmüller = 350 cm^3; x = 30 : 35 = 0,85‰ CO_2

r. F. = 73,0; T. = 16,1; Sättigungsmax. = 13,63

$$x = \text{a. F.} = \frac{73{,}0 \cdot 13{,}63}{100} = 9{,}94 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 13,63—9,94 = 4,69 gr.

8 Uhr, nach einer Stunde Unterricht:

Ohlmüller = 90; x = 30 : 9 = 3,33‰ CO_2

r. F. = 69,0; T. = 18,1; Sättigungsmax. 15,42

$$x = \text{a. F.} = \frac{69{,}0 \cdot 15{,}42}{100} = 10{,}53 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 15,42—10,53 = 4,89 gr.

9 Uhr; von 8—9 Uhr war kein Unterricht, aber auch keine Lüftung; die Sonne fing an zu scheinen:

Ohlmüller = 110; x = 30 : 11 = 2,72‰ CO_2

r. F. = 67,0 cm^3; T. = 18,4; Sättigungsmax. 15,68

$$x = \text{a. F.} = \frac{67{,}0 \cdot 15{,}68}{100} = 10{,}50 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 15,68—10,50 = 5,18 gr.

10 Uhr, nachdem während ¼ Stunde Pause gelüftet worden, wurde ausnahmsweise im Schulzimmer eine Stunde Singen abgehalten:

Ohlmüller = 70; x = 30 : 7 = 4,28‰ CO_2

r. F. = 57,0; T. = 20,5; Sättigungsmax. 17,68

$$x = \text{a. F.} = \frac{57{,}0 \cdot 17{,}68}{100} = 10{,}07 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 17,68 – 10,07 = 7,61 gr.

11 Uhr, nach drei Stunden Unterricht: ein Fensterflügel geöffnet:

Ohlmüller = 60; x = 30 : 6 = 5,00‰ CO_2

r. F. = 55,0; T. = 21,0; Sättigungsmax. = 18,20

$$x = \text{a. F.} = \frac{55{,}0 \cdot 18{,}20}{100} = 10{,}01 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 18,20—10,01 = 8,19 gr.

Tabelle IX.

Zimmer Nr. 12. 17. Juni 1901.

Nachmittags 2 Uhr, vor Beginn des Unterrichts:

Ohlmüller = 350 cm^3; x = 30 : 35 = 0,85‰ CO_2

r. F. = 43,0; T. = 22,3; Sättigungsmax. = 19,64

$$x = \text{a. F.} = \frac{43{,}0 \cdot 19{,}64}{100} = 8{,}44 \text{ gr.}$$

Sättigungsdefizit = 19,64—8,44 = 11,20 gr.

3 Uhr, nach einer Stunde Unterricht bei 3 geöffneten Flügeln und offenstehender Thüre:

Ohlmüller = 150; x = 30 : 15 = 2,00‰ CO_2

r. F. = 39,5; T. = 23,8; Sättigungsmax. = 21,37

$$x = \text{a. F.} = \frac{39{,}5 \cdot 21{,}27}{100} = 8{,}44 \text{ gr.}$$

Sättigungsdefizit = 21,37—8,44 = 12,93 gr.

4 Uhr, nach zwei Stunden Unterricht unter der nämlichen Ventilation:

Ohlmüller — 120; x = 30 : 12 = 2,50‰ CO_2

r. F. = 39,0; T. = 24,5; Sättigungsmax. = 22,23

$$x = \text{a. F.} = \frac{39{,}0 \cdot 22{,}23}{100} = 8{,}66 \text{ gr.}$$

Sättigungsdefizit = 22,23—8,60 = 13,57 gr.

Tabelle X.

Zimmer Nr. 12. 21. Juni 1901.

Da bis jetzt der CO_2-Gehalt vor Beginn der Stunde immer in den nämlichen Grenzen sich bewegte, verzichtete ich von nun an auf dessen Bestimmung.

3 Fensterflügel geöffnet und ein Oberlicht der Thüre.

8 Uhr, nach einer Stunde Unterricht:

Ohlmüller = 160 cm^3; x = 30 : 16 = 1,87‰ CO_2

r. F. = 59,0; T. = 19,1; Sättigungsmax. 16,39

$$x = \text{a. F.} = \frac{59{,}0 \cdot 16{,}39}{100} = 9{,}47 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 16,39—9,47 = 6,92 gr.

9 Uhr, nach zwei Stunden Unterricht:

Ohlmüller = 130; x = 30 : 13 = 2,30‰ CO_2

r. F. = 57,0; T. = 20,8; Sättigungsmax. = 17,99

$$x = \text{a. F.} = \frac{57{,}0 \cdot 17{,}99}{100} = 10{,}25 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 17,99—10,25 = 7,74 gr.

10 Uhr, nach drei Stunden Unterricht:

Ohlmüller = 110; x = 30 : 11 = 2,72‰ CO_2

r. F. = 53,0; T. = 22,0; Sättigungsmax. = 19,29

$$x = \text{a. F.} = \frac{53{,}0 \cdot 19{,}29}{100} = 10{,}22 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 19,29—10,22 = 9,07 gr.

11 Uhr, nach vier Stunden Unterricht:

Ohlmüller = 100; x = 30 : 10 = 3,00‰ CO_2

r. F. = 51,0; T. = 23,4; Sättigungsmax. = 20,91

$$x = \text{a. F.} = \frac{51{,}0 \cdot 20{,}91}{100} = 10{,}66 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 20,91—10,66 = 10,25 gr.

Tabelle XI.

Zimmer Nr. 14. 25. Juni 1901. 25 Kinder, 15jährig.

Länge 8,90 m. Breite 7,23 m. Höhe 3,60 m.

Kubikinhalt = 231,64 m^3; pro Kopf = 9,26 m^3.

8 Uhr, nach einer Stunde Unterricht; wegen Regentag nur 2 Fensterflügel offen:

Ohlmüller = 140 cm^3; x = 30 : 14 = 2,14‰ CO_2

r. F. = 75,0; T. = 18,3; Sättigungsmax. = 15,59

$$x = \text{a. F.} = \frac{75{,}0 \cdot 15{,}59}{100} = 11{,}69 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 15,59—11,69 = 3,90 gr.

9 Uhr; das Zimmer stund bei 4 geöffneten Flügeln eine Stunde leer:

Ohlmüller = 350; x = 30 : 35 = 0,85‰ CO_2

r. F. = 70,0; T. = 18,8; Sättigungsmax. = 16,03

$$x = \text{a. F.} = \frac{70{,}0 \cdot 16{,}03}{100} = 11.22 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 16,03—11,22 = 4,81 gr.

10 Uhr, ohne dass Stunde war, stunden 4 Flügel offen:

Ohlmüller = 380; x = 30 : 34 = 0,78‰ CO_2

r. F. = 63,0; T. = 19,2; Sättigungsmax. 16,39

$$x = \text{a. F.} = \frac{63{,}0 \cdot 16{,}39}{100} = 10{,}32 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 16,39—10,32 = 6,05 gr.

11 Uhr, nach einer Stunde Unterricht, 2 Flügel offenstehend:

Ohlmüller = 150; x = 30 : 15 = 2,00 ‰ CO_2

r. F. = 60,3; T. = 20,3; Sättigungsmax. = 17,47

$$x = \text{a. F.} = \frac{60{,}3 \cdot 17{,}47}{100} = 10{,}53 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 17,47—10,53 = 6,94 gr.

Tabelle XII.

Zimmer Nr. 14. 28. Juni 1901.

8 Uhr, nach einer Stunde Unterricht; 6 Flügel geöffnet. Sonnenschein:

Ohlmüller = 180; x = 30 : 18 = 1,66‰ CO_2

r. F. = 57,0; T. = 20,2; Sättigungsmax. = 17,37

$$x = \text{a. F.} = \frac{57{,}0 : 17{,}37}{100} = 9{,}90 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 17,37—9,90 = 7,47 gr.

9 Uhr, nach einer Stunde Pause, während welcher 6 Flügel offen standen:

Ohlmüller = 350; x = 30 : 35 = 0,78‰ CO_2

r. F. = 56,0; T. = 19,8; Sättigungsmax. = 16,97

$$x = \text{a. F.} = \frac{56{,}0 \cdot 16{,}97}{100} = 9{,}50 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 16,97—9,50 = 7,47 gr.

10 Uhr, nach einer Stunde Unterricht; 6 Flügel offen:

Ohlmüller = 160; x = 30 : 16 = 1,87‰ CO_2

r. F. = 57,0; T. = 21,2; Sättigungsmax. = 18,41

$$x = \text{a. F.} = \frac{57{,}0 \cdot 18{,}41}{100} = 10{,}49 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 18,41—10,49 = 7,92 gr.

11 Uhr, nach zwei Stunden Unterricht; während diesen letzten Stunden waren alle Ventilatoren geschlossen, nur eine Thüre nach dem Korridor zu geöffnet:

Ohlmüller = 90; x = 30 : 9 = 3,33‰ CO_2

r. F. = 60,0; T. = 21,8; Sättigungsmax. = 19,06

$$x = \text{a. F.} = \frac{60{,}0 \cdot 19{,}06}{100} = 11{,}43 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 19,06—11,43 = 7,63 gr.

Tabelle XIII.

Zimmer Nr. 14. 4. Juli 1901.

Weil Regentag, sind nur die Oberlichter der beiden Thüren gegen den Korridor zu geöffnet.

8 Uhr, nach einer Stunde Unterricht:

Ohlmüller = 100 cm^3; x = 30 : 10 = 3,00‰ CO_2

r. F. = 76,0; T. = 17,6; Sättigungsmax. = 14,95

$$x = \text{a. F.} = \frac{76{,}0 \cdot 14{,}95}{100} = 11{,}36 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 14,95—11,36 = 3,59 gr.

9 Uhr, nach zwei Stunden Unterricht bei der nämlichen Ventilation:

Ohlmüller = 70; x = 30 : 7 = 4,28‰ CO_2

r. F. = 73,0; T. = 18,8; Sättigungsmax. = 16,03

$$x = \text{a. F.} = \frac{73{,}0 \cdot 16{,}03}{100} = 11{,}90 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 16,03—11,90 = 4,13 gr.

10 Uhr; während einer Stunde war kein Unterricht; zu den 2 Oberlichtern noch 3 Fensterflügel geöffnet:

Ohlmüller = 270 cm^3: x = 30 : 27 = 1,11‰ CO_2

r. F. = 66,5; T. = 18,4; Sättigungsmax. = 15,68

$$x = \text{a. F.} = \frac{66{,}5 \cdot 15{,}68}{100} = 10{,}19 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 15,68—10,19 = 5,49 gr.

11 Uhr, nach einer Stunde Unterricht bei 2 geöffneten Oberlichtern und einem Fensterflügel:

Ohlmüller = 90; x = 30 : 9 = 3,33‰ CO_2

r. F. = 60,5; T. = 21,0; Sättigungsmax. = 18,20

$$x = \text{a. F.} = \frac{60{,}5 \cdot 18{,}20}{100} = 11{,}01 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 18,20—11,01 = 7,19 gr.

Tabelle XIV.

Zimmer Nr. 14. 5. Juli 1901.

Bedeckter Himmel, ohne Regen; gegen Mittag Sonnenschein; 3 Flügel offen.

8 Uhr, nach einer Stunde Unterricht:

Ohlmüller = 110; x = 30 : 11 = 2,72‰ CO_2

r. F. = 69,0; T. = 18,3; Sättigungsmax. = 15,59

$$x = \text{a. F.} = \frac{69{,}0 \cdot 15{,}59}{100} = 10{,}75 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 15,59—10,75 = 4,84 gr.

9 Uhr, eine Stunde kein Unterricht bei der nämlichen Ventilation:

Ohlmüller = 280; x = 30 : 28 = 1,07‰ CO_2

r. F. = 67,0; T. = 18,3; Sättigungsmax. = 15,59

$$x = \text{a. F.} = \frac{67{,}0 \cdot 15{,}59}{100} = 10{,}44 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 15,59—10,44 = 5,15 gr.

10 Uhr, nach einer Stunde Unterricht:

Ohlmüller = 100; x = 30 : 10 = 3,0‰ CO_2

r. F. = 63,0; T. = 20,0; Sättigungsmax. = 17,16

$$x = \text{a. F.} = \frac{63{,}0 \cdot 17{,}16}{100} = 10{,}81 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 17,16—10,81 = 6,35 gr.

11 Uhr, nach 2 Stunden Unterricht:

Ohlmüller = 80; x = 30 : 8 = 3,75‰ CO_2

r. F. = 57,0; T. = 21,9; Sättigungsmax. = 19,17

$$x = \text{a. F.} = \frac{57{,}0 \cdot 19{,}17}{100} = 10{,}92 \text{ gr}$$

Sättigungsdefizit = 19,17—10,92 = 8,25 gr.

Vergleichen wir die erhaltenen Resultate in Bezug auf den Kohlensäuregehalt mit denen anderer Untersucher, so können wir sie als recht günstige bezeichnen. Denn Breiting fand nach 4 Stunden Unterricht in Basel einen Kohlensäuregehalt bis zu 9,36 ‰, allerdings bei mangelhafter Ventilation und bei der doppelten Schülerzahl. Auch Hesse und Schwarzenbach fanden Gehalte von Kohlensäure bis über 9 ‰; auch in diesen Versuchen stieg zwar der Kohlensäuregehalt in einzelnen Fällen bis auf 4,28 ‰ (Tab. XIII) und 5,0 ‰ (Tab. VIII); ja sogar auf 7,50 ‰ nach 2 Stunden Unterricht; aber alle diese Fälle kamen nur bei mangelnder Ventilation vor, bei Tabelle III hatte ich absichtlich versuchsweise jede Ventilation unterlassen. Interessant ist namentlich auch die Thatsache, dass nach einer Stunde Singen der Kohlensäuregehalt ganz erheblich stieg (Tab. VIII von 2,72 auf 4,28 ‰); es ist dies übereinstimmend mit Resultaten, wie sie auch Hesse und Schwarzenbach fanden. Was die übrigen Resultate anbetrifft, so bleibt der Gehalt auch nach 4 Stunden unter 4,0 ‰ (Max. 3,75 ‰; Tab. IV und XIII); es ist dies eine Grenze, bei der nach Pappenheim und Leblanc die Luft noch nicht als verdorben bezeichnet werden kann; nach Wolpert, Poumet, Schottky und Pettenkofer, der die Grenze ja auf 1 ‰ festsetzte, wäre sie allerdings schon um ein erhebliches überschritten. Auch die Steigerung des Gehaltes von Stunde zu Stunde ist, dank reichlicher Ventilation, eine geringe. In einem einzigen Falle und zwar als der Gehalt auf 7,50 ‰ stieg, bezeichneten die Schülerinnen die Luft selbst als schlecht und unerträglich und klagten über Kopfschmerzen, sonst hörte

ich nie derartige Klagen. Was die Behauptung Baginsky's anbetrifft, dass der Kohlensäuregehalt steige bei niedriger Temperatur und umgekehrt, so kann ich sie, auf Grund meiner allerdings nicht sehr zahlreichen Versuche, nicht bestätigen; freilich haben wir in Tabelle VIII und XIII (Regentage) einen hohen Gehalt bis zu 5,0 $^0/_{00}$ CO_2; aber ich glaube, dass der Grund dieser Steigerung weniger in der niedrigen Temperatur zu suchen ist, als darin, dass eben an den betreffenden Tagen die Ventilationen, der geringen Wärme wegen, geschlossen waren oder doch in ungenügender Weise in Funktion gesetzt wurden; damit würde auch Tabelle III übereinstimmen, indem dort, trotz hoher Temperatur, der Kohlensäuregehalt bis auf 7,5 $^0/_{00}$ stieg, waren ja doch hier die Ventilationen absichtlich geschlossen gewesen; Tabelle XI hinwiederum zeigt, trotz dem Regentage, nur geringen Kohlensäuregehalt, offenbar weil die Ventilation eine genügende war.

Aus den Tabellen III, VIII, XIII kann somit die Weisung genommen werden, stets für gute Lüftung zu sorgen; namentlich im Winter, wo ja die künstlichen Ventilationen des Wärmeverlustes wegen stets geschlossen sind, müssen während den Pausen, die ja glücklicherweise auf 10—15 Minuten bemessen sind, die Fenster geöffnet werden, um einen gehörigen Luftaustausch zu bewerkstelligen, denn schon nach einer Stunde stieg ja der Kohlensäuregehalt unter solchen Verhältnissen auf 3,75 $^0/_{00}$, was entschieden schon hoch genug ist. Dass der Kohlensäuregehalt schon vor Beginn der Stunde das von Pettenkofer festgesetzte Maximum von 1 $^0/_{00}$ CO_2 fast erreicht hatte, rührt davon her, dass die Schülerinnen schon 10—15 Minuten vorher das Zimmer betreten konnten; diesem Uebelstand könnte aber leicht dadurch abgeholfen werden, dass der Eintritt

in die Schulzimmer erst wenige Minuten vor Beginn des Unterrichts gestattet wird. Dass der Altersunterschied in den verschiedenen Klassen sehr wenig Einfluss hatte auf die Kohlensäureausscheidung, ersehen wir aus den gewonnenen Resultaten, die für jüngere und ältere Mädchen ungefähr gleich hoch waren.

Um ein sicheres Urteil zu erhalten, ob einer Steigerung oder Abnahme der Kohlensäure auch eine solche der Feuchtigkeit entspreche und ob überhaupt ein bestimmtes Verhältnis zwischen den beiden existiere, habe ich die Resultate in einer besondern Tabelle zusammengestellt; dabei ist auch gleich das Sättigungsdefizit berücksichtigt.

Tabelle XV.

		CO_2-Gehalt in ‰	Zunahme	Abnahme	Absolute Feuchtigk. in gr. pro m^3	Zunahme	Abnahme	Sättig.-defizit
Tab. I.	7 h	0,93	—	—	8,87	—	—	6,90
	8 h	1,87	0,94	—	9,09	0,31	—	8,07
	9 h	2,50	0,63	—	9,16	0,07	—	9,36
	11 h	2,72	0,22	—	10,28	1,12	—	12,08
Tab. II.	7 h	0,90	—	—	8,78	—	—	6,64
	8 h	1,76	0,86	—	9,20	0,42	—	8,17
	9 h	2,50	0,74	—	9,45	0,25	—	9,84
	11 h	3,33	0,83	—	10,51	1,06	—	12,11
Tab. III.	7 h	0,88	—	—	8,60	—	—	6,90
	8 h	3,75	2,87	—	11,32	3,72	—	8,55
	9 h	7,50	3,75	—	12,67	1,35	—	9,18
	11 h	2,72	—	4,78	9,72	—	2,95	9,34

(Tabelle XV — Fortsetzung)

		CO_2-Gehalt in ‰	Zunahme	Abnahme	Absolute Feuchtigk. in gr. pro m³	Zunahme	Abnahme	Sättig.-defizit
Tab. IV.	7 h	0,90	—	—	8,76	—	—	6,10
	8 h	1,76	0,86	—	9,03	0,27	—	7,80
	9 h	3,33	1,57	—	9,58	0,55	—	8,10
	11 h	3,75	0,42	—	9,99	0,41	—	10,0
Tab. V.	7 h	0,75	—	—	9,67	—	—	6,72
	8 h	2,00	1,25	—	10,67	1,0	—	7,74
	9 h	2,50	0,50	—	10,41	—	0,26	8,88
	10 h	2,72	0,22	—	10,31	—	0,10	9,91
	11 h	3,00	0,28	—	11,00	0,69	—	10,37
Tab. VI.	7 h	0,88	—	—	10,30	—	—	3,42
	8 h	2,14	1,26	—	11,25	0,95	—	4,17
	9 h	2,72	0,58	—	12,52	1,27	—	4,64
	10 h	2,72	0	—	11,77	—	0,75	5,81
	11 h	3,00	0,28	—	12,34	0,77	—	6,95
Tab. VII.	7 h	0,71	—	—	9,72	—	—	6,48
	8 h	1,87	1,16	—	10,46	0,74	—	7,64
	9 h	2,14	0,27	—	10,53	0,07	—	9,34
	10 h	2,50	0,36	—	10,34	—	0,19	10,34
	11 h	2,72	0,22	—	10,64	0,30	—	11,09
Tab. VIII.	7 h	0,85	—	—	9,94	—	—	4,69
	8 h	3,33	2,48	—	10,53	0,59	—	4,89
	9 h	2,72	—	0,61	10,50	—	0,03	5,18
	10 h	4,28	1,56	—	10,07	—	0,43	7,61
	11 h	5,00	0,72	—	10,01	—	0,06	8,19
Tab. IX.	2 h	0,85	—	—	8,44	—	—	11,29
	3 h	2,00	1,15	—	8,44	0	—	12,93
	4 h	2,50	0,50	—	8,66	0,22	—	13,57

(Tabelle XV — Schluss)

		CO_2-Gehalt in ‰	Zunahme	Abnahme	Absolute Feuchtigk. in gr. pro m^3	Zunahme	Abnahme	Sättig.-defizit
Tab. X.	8 h	1,87	—	—	9,47	—	—	6,92
	9 h	2,30	0,43	—	10,25	0,78	—	7,74
	10 h	2,72	0,42	—	10,22	—	0,03	9,07
	11 h	3,00	0.28	—	10,66	0,44	—	10,25
Tab. XI.	8 h	2,14	—	—	11,69	—	—	3,90
	9 h	0,85	—	1,29	11,22	—	0,47	4,81
	10 h	0,78	—	0,07	10.32	—	0,90	6,05
	11 h	2,00	1,22	1,22	10,53	0,21	—	6,94
Tab. XII.	8 h	1,66	—	—	9,90	—	—	7,47
	9 h	0,87	—	0,88	9,50	—	0,40	7,47
	10 h	1,87	1,09	—	10,49	0,99	—	7,92
	11 h	3,33	1,46	—	11,43	0,94	—	7,63
Tab. XIII.	8 h	3,00	—	—	11,36	—	—	3,59
	9 h	4,28	1,28	—	11,90	0,54	—	4,13
	10 h	1,11	—	3,17	10,19	—	1,70	5,49
	11 h	3,33	2,22	—	11,01	0,82	—	7,19
Tab. XIV.	8 h	2,72	—	—	10,75	—	—	4,84
	9 h	1,07	—	1,65	10,44	—	0,31	5,15
	10 h	3,00	1,93	—	10,81	0,37	—	6,35
	11 h	3,75	0,75	—	10,92	0,11	—	8,25

Das Sättigungsdefizit ist, wie man aus den Tabellen sieht, ziemlich über die von Denecke angegebenen Grenzen hinausgegangen, namentlich an warmen Tagen (12,11 Tab. II und 13,57 Tab. IX); eine unangenehme Wirkung aber auf die Schülerinnen konnte ich gleichwohl nicht konstatieren,

so dass wohl erst erhebliche Ueberschreitungen des angegebenen Maximums Schädlichkeiten hervorrufen werden.

Die absolute Feuchtigkeit schwankt von 8,44—12,67 (Tab. IX und III), hält sich also in mässigen Grenzen; dagegen sank die relative bis auf 39% herab, bei einem minim. opt. von 50%. Daraus ist zu ersehen, dass man bei den nämlichen Verhältnissen zu ganz verschiedenen Resultaten kommen kann, je nachdem man die Feuchtigkeit in absoluter oder relativer oder durch das Sättigungsdefizit angibt, vorausgesetzt, dass das angegebene Maximum von 8 bis 9 gr für das Sättigungsdefizit richtig ist.

Was nun das Verhältnis von Kohlensäure und Feuchtigkeit anbetrifft, so geben uns die Tabellen ganz interessante Thatsachen und Aufklärungen darüber. Wir sehen, dass in einer ganzen Anzahl von Tabellen (I, II, III, IV, XI, XII, XIII, XIV) der Wassergehalt zu- und abnimmt gleichzeitig mit dem Kohlensäuregehalt; in andern ist aber das Gegenteil vorhanden (V, VI, VII, VIII); eine proportionale Steigerung oder Abnahme aber sehen wir in keinem Fall und dass nicht einmal immer eine gleichzeitige Zunahme resp. Abnahme existiert, weist mit Bestimmtheit darauf hin, dass ein proportionales Verhältnis zwischen Kohlensäuregehalt und Feuchtigkeit in der Luft unserer Wohn- und Aufenthaltsräume im allgemeinen nicht besteht; es sind eben zu verschiedene Faktoren, die schon früher erwähnt sind, welche ihren Einfluss auf die beiden in verschiedener Weise geltend machen. Somit fällt auch die Möglichkeit dahin, durch die Bestimmung der Luftfeuchtigkeit auf den Gehalt von Kohlensäure, die als Indicator der allgemeinen Luftverschlechterung bis jetzt mit Recht gegolten hat, zu schliessen; oder mit andern Worten, die Luftfeuchtigkeit ist als Indicator der Luftverschlechterung nicht verwendbar.

Der Pettenkofer'sche Satz der proportionalen Steigerung, der uns dadurch die Möglichkeit einer neuen Kohlensäurebestimmung zu bieten schien, ist, gemäss diesen Untersuchungen, praktisch durchaus nicht richtig, und es wäre deshalb vielleicht angezeigt, denselben durch entsprechende Experimente auf seine theoretische Richtigkeit nachzuprüfen.

Zum Schlusse meiner Arbeit sei es mir noch gestattet, Herrn Prof. Dr. Girard für die gütige Unterstützung und Belehrung, die er mir zu teil werden liess, sowie Herrn Direktor Balsiger für sein liebenswürdiges Entgegenkommen meinen herzlichsten Dank auszusprechen.